Aus dem Institut und der Klinik
für Medizinische Strahlenkunde
der Universität Düsseldorf

(Direktor: Prof. Dr. med. Heinz Vieten)

DIE BESTIMMUNG DER RÖHRENSPANNUNG MIT HILFE EINES CADMIUMTELLURIDHALBLEITERDETEKTORS

D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

RAINER FITTKAU

1982

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536505_0045

Aus dem Institut und der Klinik
für Medizinische Strahlenkunde
der Universität Düsseldorf

(Direktor: Prof. Dr. med. Heinz Vieten)

DIE BESTIMMUNG DER RÖHRENSPANNUNG MIT HILFE EINES CADMIUMTELLURIDHALBLEITERDETEKTORS

D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
Der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von

RAINER FITTKAU

1982

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Brüster

Referent
gez.: Prof. Dr. Günther

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Jungblut

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Rechtliche Grundlagen	3
3.	Physikalische Grundlagen	5
4.	Methodik	8
4.1.	Röntgenstrahlspektrometer	8
4.2.	Röntgeneinrichtungen	11
5.	Messungen	13
5.1.	Kalibrierung des Spektrometers	13
5.2.	Bestimmung von Röhrenspannungen	18
5.2.1.	Einfluß der Filterung	18
5.2.2.	Oberflächentherapiegerät Dermopan	21
5.2.3.	Technisches Eintankgerät	23
5.2.4.	300-kV-Röntgenstrahler	27
5.2.5.	160-kV-Röntgenstrahler	30
5.2.6.	Medizinische Durchleuchtungseinrichtung	33
6.	Diskussion	35
7.	Zusammenfassung	38
8.	Literaturverzeichnis	40

1. Einleitung

Für den diagnostischen und therapeutischen Erfolg beim Einsatz von Röntgenstrahlern in der Medizin ist die genaue Kenntnis und reproduzierbare Einstellung der Röhrenspannung von großer Bedeutung, da diese neben der Filterung die Strahlenqualität bzw. das Durchdringungsvermögen bestimmt. Die Strahlenqualität beeinflußt in der Röntgendiagnostik den Verlauf der Tiefendosiskurve, von dem die Herddosis, die Hautdosis und die Belastung des gesunden Gewebes abhängen. Der Messung der Röhrenspannung kommt eine besondere Bedeutung zu, da bekannt ist, daß an vielen Röntgenstrahlern, besonders an älteren, die eingestellte bzw. angezeigte Spannung nicht identisch ist mit der an der Röhre wirksam werdenden.

Zur Bestimmung der Röhrenspannung gibt es unterschiedliche Methoden, die mehr oder weniger aufwendig sind und dementsprechend verschiedene Genauigkeiten aufweisen /1/ bis /5/.

Eine sehr genaue Methode ist die Aufnahme der Bremsstrahlspektren mittels Halbleiterspektrometern, z.B. aus Ge(Li). Dabei ist das Hochenergieende des Spektrums, gemessen in der Einheit keV, zahlenmäßig identisch mit der anliegenden Röhrenspannung, gemessen in der Einheit kV. Der Nachteil der Ge(Li)-Spektrometrie ist der relativ große apparative Aufwand und die Notwendigkeit zur Kühlung mit flüssigem Stickstoff. Der CdTe-Detektor dagegen arbeitet bei Zimmertemperatur und ist daher für den mobilen Einsatz vorteilhafter.

Das Ziel dieser Arbeit ist die praktische Erprobung des CdTe-Detektors. Entsprechende Vorarbeiten, wie die Bestimmung des Auflösungsvermögen, der Ansprechbarkeit, der Linearität wurden schon im Rahmen einer Studienarbeit in der Zentralstelle für Sicherheitstechnik in Zusammenarbeit mit der Gesamthochschule Wuppertal durchgeführt /6/.

2. Rechtliche Grundlagen

Die für den Betrieb von Röntgeneinrichtungen geltenden Gesetze und Bestimmungen machen für die medizinische Anwendung indirekt eine Bestimmung der Röhrenspannung nötig.

Die Röntgenverordnung (RöV) , seit 1973 in Kraft, reglementiert die Anwendung von Röntgenstrahlern auch in der Medizin /7/. Ergänzend dazu existieren Richtlinien und DIN-Normen, die nach dem jeweiligen Stand der Technik als sogenannte Durchführungsbestimmungen zu verstehen sind.

Eine Bestimmung der RöV (§ 29) regelt die Aufzeichnungspflicht /8/. Hier wird die Aufzeichnung von Parametern gefordert, aus der sich die Strahlenexposition des Patienten bei der Untersuchung oder Behandlung errechnen läßt. Eine Richtlinie zu § 29 unterteilt diese Parameter in variable Daten und Standarddaten. Der Wert der Röhrenspannung gehört zwar bei den meisten Anlagen zu den variablen Daten, kann jedoch - da dort fest eingestellt - bei einfachen Geräten in der Strahlentherapie, z.B. Oberflächentherapie, oder in der Diagnostik, z.B. Zahnmedizin, zu den Standarddaten zählen. Diese müssen nach der Richtlinie jährlich überprüft werden. Zu den Standarddaten gehört ferner die Filterung der Röntgenröhre. Die Methoden zur Bestimmung der Filterdicke setzen in den meisten Fällen eine genaue Kenntnis der Röhrenspannung voraus, so daß auf diese Weise eine Messung der Röhrenspannung ebenfalls erforderlich werden kann, unabhängig davon, ob sie zu den

variablen Daten oder zu den Standarddaten gezählt werden muß. Zur Diskussion steht im übrigen die Einführung einer sogenannten Qualitätskontrolle an medizinischen Röntgeneinrichtungen, im Verlaufe derer vor allem bildgebende und bildqualitätsbeeinflußende Elemente überprüft werden sollen. Dazu ist eine richtige und reproduzierbare Einstellung der Röhrenspannung unbedingt erforderlich.

3. Physikalische Grundlagen

Die Bestimmung der Röhrenspannung erfolgt in dieser Arbeit durch Aufnahme eines Röntgenbremsstrahlspektrums mittels eines entsprechenden Detektors ("Spektrometer").

In der Röntgenröhre entsteht Röntgenbremsstrahlung, wenn hochenergetische Elektronen, die aus einem glühenden Heizdraht austreten, durch Anlegen einer Hochspannung im kV-Bereich auf eine Anode treffen, in diese eindringen, dabei den weitaus größten Teil ihrer Energie als Wärme verlieren, aber einen sehr kleinen Teil als Röntgenstrahlen abgeben. Die abgegebene Strahlung ist nicht monoenergetisch, sondern kontinuierlich dergestalt, daß von der Maximalenergie (Grenzenergie) ausgehend die Röntgenstrahlenintensität nahezu linear mit abnehmender Energie anwächst. Unterhalb eines bestimmten Energiewertes können die niederenergetischen Anteile die Röhrenwandung und das Anodenmaterial nicht mehr durchdringen, so daß die außerhalb der Röhre nachweisbare Strahlenintensität von diesem Punkt an mit abnehmender Energie wieder sinkt (Abb.1). Der Wert der Grenzenergie in keV entspricht zahlenmäßig dem Wert der angelegten Röhrenspannung in kV. Intensität heißt Zahl der Photonen pro Flächeneinheit und Zeit.

Hinzu kommt noch - für diese Arbeit aber weniger von Bedeutung -, daß oberhalb bestimmter Energien charakteristische Röntgenstrahlung des Anodenmaterials erzeugt wird, die sich als Linienspektrum dem Bremsstrahlspektrum überlagert.

Für die Medizin spielt diese Strahlenart, abgesehen von der Mammographie, allerdings keine Rolle.

Die Form des Spektrums repräsentiert die sogenannte Strahlenqualität und wird durch Röhrenspannung und Filterung beeinflußt. Das Filtermaterial wird in der Medizin hauptsächlich in Aluminium- und Kupfergleichwerten angegeben. Die Filterung absorbiert den niederenergetischen, weichen Anteil der Strahlung mehr als den hochenergetischen, harten Anteil. Aufgabe der Filterung ist es, die Strahlenexposition des Patienten durch Reduzierung der Strahlenintensität möglichst gering zu halten. Die Strahlenexposition ist um so höher, desto höher der Anteil der weichen Strahlung an der Gesamtintensität ist; denn diese wird im Körper des Patienten stark absorbiert, was zu strahlenbiologischen Wirkungen führt. Erreicht wird die "Aufhärtung" der Strahlung durch hohe Röhrenspannungen und/oder starke Filterung. Auf den Wert der Grenzenergie haben Filterung und Röhrenstrom keinen Einfluß. Die Grenzenergie wird nur durch die Röhrenspannung bestimmt, und zwar in der schon beschriebenen Form:
Der Wert der Röhrenspannung ist proportional zum Wert der Grenzenergie. Ist der Proportionalitätsfaktor durch Kalibrierung des Spektrometers bekannt, so läßt sich durch Aufnahme des Hochenergieendes eines Bremsstrahlspektrums die anliegende Röhrenspannung bestimmen /1/.

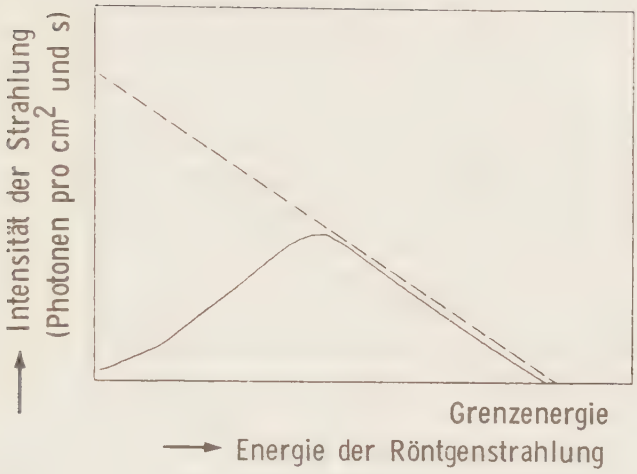

Abb.1 Schematische Darstellung eines Röntgenbremsstrahlspektrums innerhalb (---) und außerhalb (——) einer Röntgenröhre

4. Methodik

4.1. Röntgenstrahlspektrometer

Die Aufnahme des Röntgenbremsstrahlspektrums liefert Informationen über die spektrale Verteilung der angewandten Röntgenstrahlen und deren kurzwellige Grenzenergie.

Zum Einsatz kommen NaJ-Szintillatoren, Ge(Li)-, Si-, HgJ_2- und CdTe-Halbleiterdetektoren und Proportionalzählrohre. Die unterschiedlichen Detektortypen unterscheiden sich hinsichtlich des Auflösungsvermögens und des Ansprechvermögens. Aufgrund dessen sind zur Bestimmung der Grenzenergie am besten der Ge(Li)-Detektor, der mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden muß, aber auch die bei Raumtemperatur arbeitenden HgJ_2- und CdTe-Detektoren geeignet.

Halbleiterdetektoren bestehen aus einem Halbleitermaterial, an dem durch entsprechende Dotierung mit einem Fremdmaterial eine Sperrschicht erzeugt wurde. An diese Sperrschicht wird eine Spannung von z.B. 200 V angelegt (beim CdTe-Detektor) . Trifft Röntgenstrahlung auf diese Sperrschicht, entsteht ein der Energie der Strahlung proportionaler Stromimpuls, der, entsprechend verstärkt, von einem Vielkanalanalysator aufgenommen wird. Dieser ordnet Impulse eines bestimmten Energieintervalls in einzelne sogenannte Kanäle ein. Anhand der vom angeschlossenen Drucker ausgedruckten Impulszahlen pro Kanal läßt sich das aufgenommene Spektrum zeichnen. Abb.2 zeigt das Blockschaltbild des Röntgenstrahlspektrometers.

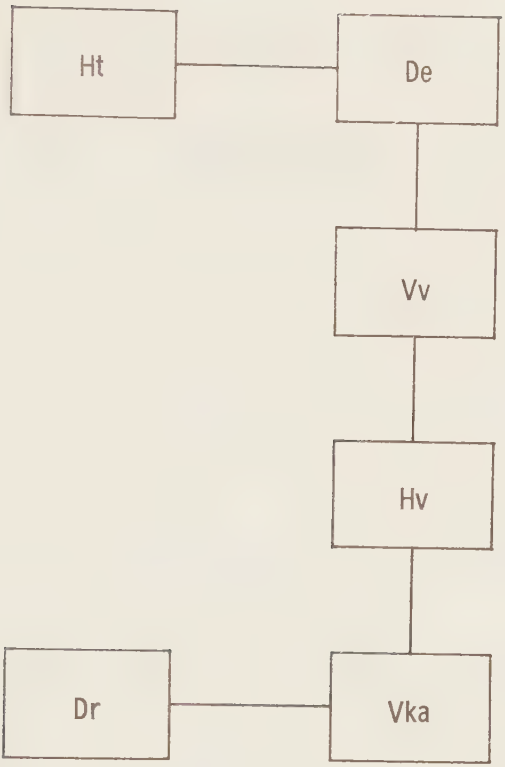

Abb.2 Blockschaltbild des in dieser Arbeit benutzten Spektrometers

Ht ≙ Hochspannungsteil
De ≙ CdTe-Detektor
Vv ≙ Vorverstärker
Hv ≙ Hauptverstärker
Vka ≙ Vielkanalanalysator
Dr ≙ Drucker

Die Messungen wurden mit folgenden Geräten durchgeführt:

Detektor : CdTe-Detektor
Typ : ECS 0509
Firma: Enertec, Schlumberger, Frankreich

Hochspannungsteil : High Voltage Bias Supply
Typ : TC 941
Firma: Tennelec

Vorverstärker : Linear Amplifier
Typ : TC 202 BLR
Firma: Tennelec

Vielkanalanalysator: Typ : PAM - 202
Firma: Wenzel

Drucker : Typ : D 044
Firma: Kienzle

4.2. Röntgeneinrichtungen

Die Messungen wurden an folgenden Röntgeneinrichtungen vorgenommen:

1. Dermopan der Firma Siemens

Eine Anlage zur Oberflächentherapie mit Halbwellengenerator. Spannungen von 10, 29, 43 und 50 kV sind einstellbar.

2. Technisches Eintankgerät der Firma Siemens

Eine Anlage mit Halbwellengenerator. Spannungen von 40 bis 90 kV sind in 10er Schritten einstellbar.

3. Materialprüfungseinrichtung MG 301 der Firma Philips mit 300 kV Röntgenstrahler

Eine Anlage mit Gleichspannungsgenerator. Spannungen von 100 bis 300 kV sind stufenlos einstellbar.

4. Materialprüfungseirichtung MG 301 der Firma Philips mit 160 kV Metall-Keramik-Rö-Strahler

Eine Anlage mit Gleichspannungsgenerator. Spannungen von 50 bis 160 kV sind stufenlos einstellbar.

5. Medizinische Durchleuchtungseinrichtung Diagnost 73 der Firma Philips

Eine Anlage mit 12-Puls-Generator. Die Röhrenspannung wird durch eine Dosisleistungsautomatik geregelt.

Die in den Strahlern der oben genannten Röntgeneinrichtungen vorhandenen Filterungen wurden zur Aufnahme der Spektren stark erhöht, um auf diese Weise die Dosisleistung in der Nutzstrahlung zu senken. Das Auflösungsvermögen des CdTe-Detektors nimmt mit wachsenden Dosisleistungen stark ab, so daß eine genaue Bestimmung der Röhrenspannung dann nicht mehr möglich ist. Die jeweils benutzten Filterungen werden in Abschnitt 5.2. angegeben.

5. Messungen

5.1. Kalibrierung des Spektrometers

Ein Vielkanalanalysator (VKA) unterteilt die Energieskala eines Spektrums in einzelne Abschnitte ("Kanäle"), deren Gesamtheit bei dem hier verwendeten Gerät 200 beträgt. Die Zuordnung der einzelnen Kanalzahlen zu bestimmten Energiewerten nennt man Energiekalibrierung des VKA. Dazu benutzt man oft monoenergetische Photonenstrahlung ("Linienspektrum"), so charakteristische Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung mit bekannten Energiewerten. Man stellt fest, welche Kanäle die Spitzen der einzelnen Linien enthalten, ordnet dann in einem Diagramm diesen Kanälen die entsprechenden Energiewerte zu und kennzeichnet durch geometrische Extrapolation bzw. Interpolation jeden Kanal durch einen Energiewert (s.Abb.3). Dieses Verfahren ist einfach, wenn der Zusammenhang zwischen Kanalzahl und Energie linear verläuft, was meistens - so auch in dieser Arbeit - der Fall ist. Die Kalibriergerade muß nicht unbedingt durch den Ursprung gehen, ihr Verlauf hängt von den eingestellten Schwellen der Elektronik ab.

Als Quelle für die charakteristische Röntgenstrahlung diente die "Variable energy x-ray source" der Firma Radiochemical Centre, Amersham. Diese Strahlenquelle ist folgendermaßen aufgebaut /9/:
Als primäre Strahlenquelle dient die 60-keV-Gamma-Strahlung des Isotops Am 241, das in Keramik eingesiegelt ist. Auf einer drehbaren Scheibe befinden sich

sechs Plättchen der Elemente Cu, Rb, Mo, Ag, Ba und Tb, die jeweils in das Strahlenfeld der Primärquelle gedreht werden können. Die Gammastrahlung erzeugt in den Plättchen Elektronenanregungen, die durch Aussendung von charakteristischer Röntgen-Strahlung wieder in den Grundzustand übergehen. Durch ein 4 mm^2 großes Loch des Gehäuses gelangt die charakteristische Röntgenstrahlung des jeweils eingestellten Elementes nach außen. Die Energien sind in Tab.1 angegeben. Für die Messungen mit dem CdTe-Detektor können nur die Strahlungen der Elemente Ag, Ba und Tb genutzt werden, da die niedrigeren Energien im Rauschbereich des Detektors liegen.

Weitere Strahlenquellen waren die Gammastrahlung der Isotope Am 241 und Ba 133. Deren Energien sind in Tab.2 angegeben.

In zahlreichen Vormessungen zeigte sich, daß die Werte der Photonenenergien von Ag und Ba 133 die Kalibriergerade sehr gut erfüllten, so daß oft auf die Erfassung dieser Werte verzichtet werden konnte. Es reichte also aus, die Kalibriergerade durch drei Punkte festzulegen: Durch die charakteristische Röntgenstrahlung von Ba und Tb und die Gammastrahlung von Am 241.

Abb.4 zeigt ein Röntgenspektrum zur Kalibrierung des VKA.

Element		Ordnungszahl	Energie (keV)
Silber	Ag	47	23.5
Barium	Ba	56	34.3
Terbium	Tb	65	47.4

Tab.1 Energiewerte der charakteristischen Röntgenstrahlung der Elemente Ag, Ba und Tb, die zur Kalibrierung des Spektrometers benutzt wurden.

Element		Gamma-Energie (keV)
Americium	Am 241	60
Barium	Ba 133	81

Tab.2 Gamma-Energiewerte der Isotope Am 241 und Ba 133, die zur Kalibrierung des Spektrometers benutzt wurden.

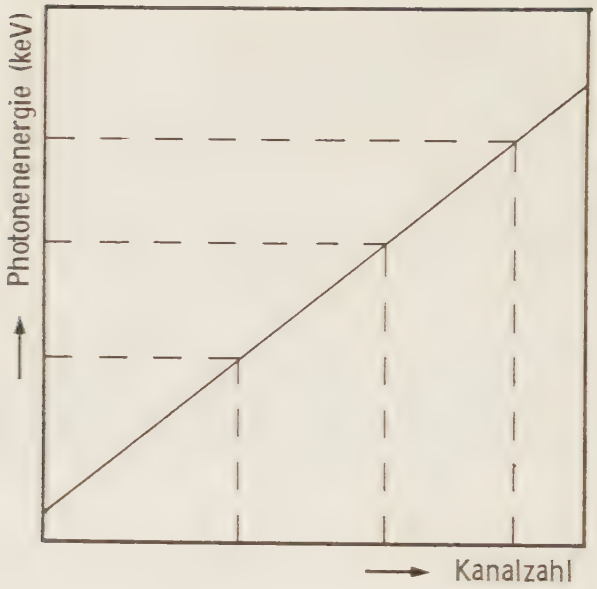

Abb.3 Prinzip der Energiekalibrierung des Vielkanalanalysators

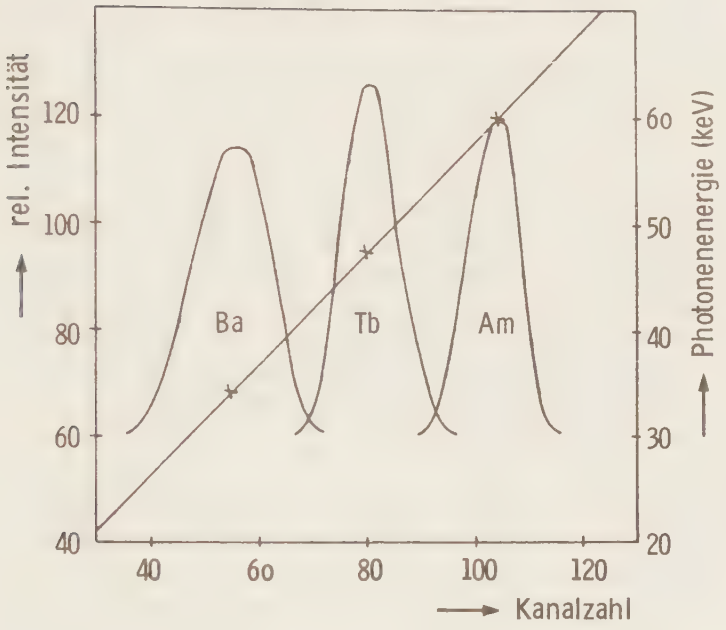

Abb.4 Spektren der charakteristischen Röntgenstrahlen (K-Linien) der Elemente Ba und Tb und der Gammastrahlung des Isotops Am 241 zur Energiekalibrierung des Vielkanalanalysators

5.2. Bestimmung der Röhrenspannung

5.2.1. Einfluß der Filterung auf die Form des Spektrums

Das Auflösungsvermögen und damit die Form des Spektrums ist abhängig von der Dosisleistung der von dem CdTe-Detektor absorbierten Röntgenstrahlung. Die hohe, nicht auf beliebig kleine Werte reduzierbare Dosisleistung von medizinischen Röntgenstrahlern kann durch zusätzliche Filterung verringert werden. Die zu bestimmende Grenzenergie wird durch diese Filterung nicht beeinflußt!

Abb.5 zeigt die unterschiedlichen Spektrumformen bei einer Röhrenspannung von 80 kV bei Verwendung verschiedener Filterdicken, aufgenommen am 160-kV-Metall-Keramik-Strahler der Fa. Philips.

In Tab.3 sind die dazu gehörigen Dosisleistungen für die verschiedenen Filterdicken angegeben. Der Abstand Fokus - Detektor betrug 100 cm, der Röhrenstrom ca. 3 mA.

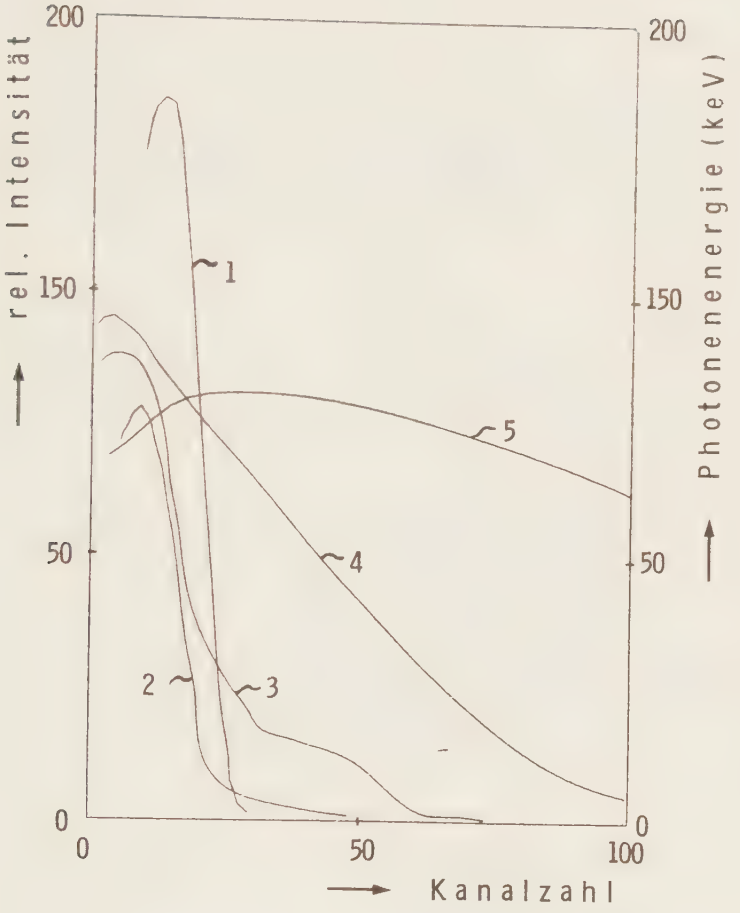

Abb.5 Bremsstrahlspektren bei einer Röhrenspannung von 80 kV mit verschiedenen Filterdicken zur Erzeugung unterschiedlicher Dosisleistungen (vgl. Tab.3)

(1 ≙ 6mm Cu, 2 ≙ 5mm Cu, 3 ≙ 4mm Cu,
4 ≙ 3mm Cu, 5 ≙ 2mm Cu)

Spektrum Nr.	Filterdicke (mm Cu)	Dosisleistung (mR/h)
1	6	47
2	5	180
3	4	377
4	3	690
5	2	3138

Tab.3 Dosisleistung und Filterdicke bei einer Röhrenspannung von 80 kV, gemessen am 160-kV-Metall-Keramik-Strahler der Firma Philips.
(Abstand Fokus-Detektor: 100 cm
Röhrenstrom: ca. 3 mA)

5.2.2. Oberflächentherapiegerät Dermopan

Die Filterungen bei den jeweils eingestellten Röhrenspannungen sind in Tab.4 angegeben. Tab.5 zeigt die mittels des Spektrums in Abb.6 gemessenen Grenzenergien.

Röhrenspannung (kV)	Filterung (mm Al)	(mm Cu)
29	1.0	0.5
43	2.0	1.7
50	1.0	3.0

Tab.4 Eingestellte Röhrenspannungen und Filterungen beim Oberflächentherapiegerät Dermopan zur Bestimmung der Grenzenergie

eingestellte Röhrenspannung (kV)	gemessene Grenzenergie (keV)
29	41
43	52
50	54

Tab.5 Ergebnisse zur Bestimmung der Grenzenergie beim Oberflächentherapiegerät Dermopan

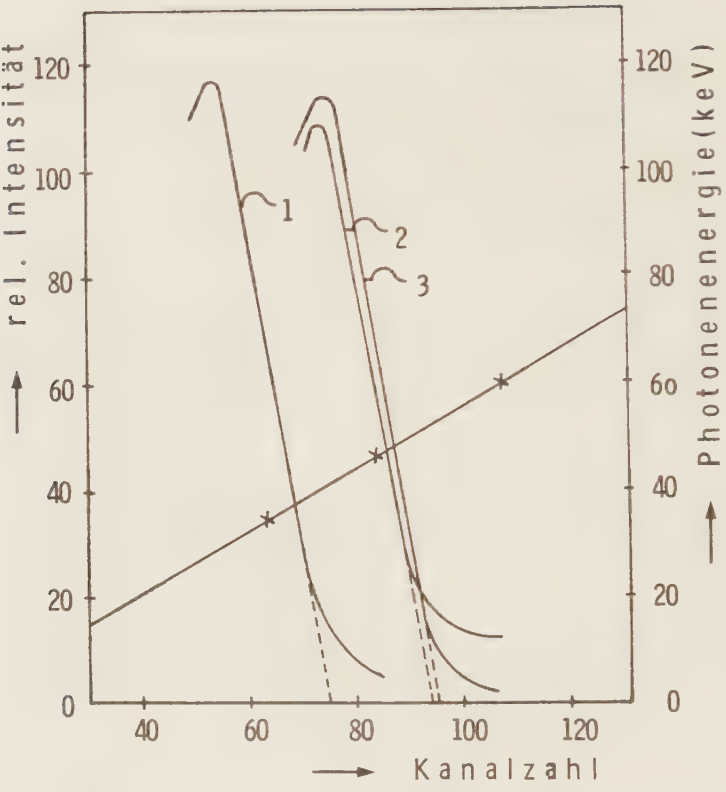

Abb.6 Bremsstrahlspektren, aufgenommen mit dem Oberflächentherapiegerät Dermopan bei Röhrenspannungen von
29 kV (≙ 1), 43 kV (≙ 2), 50 kV (≙ 3)

5.2.3. Technisches Eintankgerät

Die Tabellen 6 und 7 sowie die Abb.7 geben die eingestellten Röhrenspannungen, Filterungen und die gemessenen Grenzenergien an.

Zusätzlich wurde an dieser Anlage die Gehäusedurchlaßstrahlung und die Streustrahlung, jeweils bei 90 kV, gemessen. Bei der Gehäusedurchlaßstrahlenmessung wurde das Strahlenaustrittfenster mit einem Bleiziegel verschlossen. Als Streukörper diente ein mit Wasser gefüllter Plexiglasbehälter. Die Ergebnisse sind in Tab.8, die Spektren in Abb.8 wiedergegeben.

Röhrenspannung (kV)	Filterung (mm Cu)
50	2.5
70	3.5
90	6.5

Tab.6 Eingestellte Röhrenspannung und Filterung bei einem technischen Eintankgerät zur Bestimmung der Grenzenergie

eingestellte Röhrenspannung (kV)	gemessene Grenzenergie (keV)
50	57
70	74
90	88

Tab.7 Ergebnisse zur Bestimmung der Grenzenergie bei einem technischen Eintankgerät

Strahlenqualität	gemessene Grenzenergie (keV)
Gehäusedurchlaßstrahlung	81
Streustrahlung	46

Tab.8 Bestimmung der Grenzenergie in der Gehäusedurchlaß- und Streustrahlung bei einer Röhrenspannung von 90 kV bei einem technischen Eintankgerät

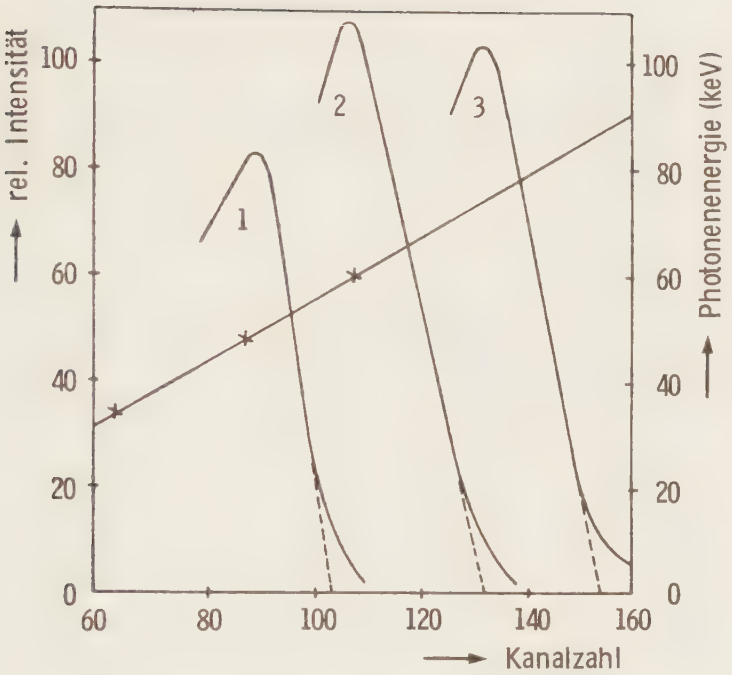

Abb.7 Bremstrahlspektren, aufgenommen mit einem technischen Eintankgerät der Fa. Siemens bei Röhrenspannungen von 50 kV (≙ 1), 70 kV (≙ 2), 90 kV (≙ 3)

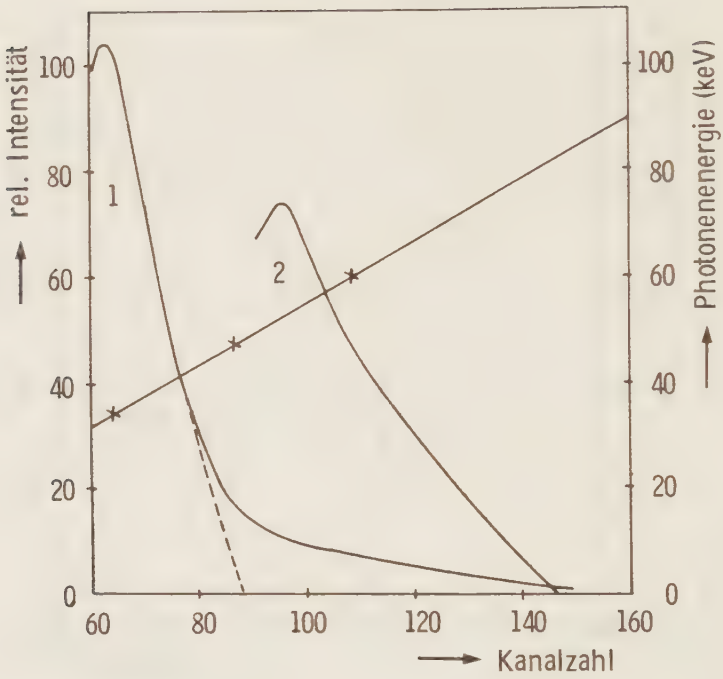

Abb.8 Bremsstrahlspektren, aufgenommen mit einem technischen Eintankgerät der Fa. Siemens
1 ≙ Streustrahlung
2 ≙ Gehäusedurchlaßstrahlung

5.2.4. 300-kV-Röntgenstrahler

Die Tabellen 9 und 10 geben die eingestellten Röhrenspannungen und Filterungen an. Abb.9 zeigt die Spektren.

Röhrenspannung (kV)	Filterung (mm Pb)	(mm Sn)	(mm Cu)
90			7.5
100			10.0
120		2.0	10.0
150		5.0	9.0
200	3.0		
250	3.7	1.0	

Tab.9 Eingestellte Röhrenspannungen und Filterungen bei der Materialprüfungseinrichtung MG 301 mit 300-kV-Röntgenstrahler

eingestellte Röhrenspannung (kV)	gemessene Grenzenergie (keV)
90	91
100	104
120	122
150	155
200	202
250	247

Tab.10 Ergebnisse zur Bestimmung der Grenzenergie bei der Materialprüfungseinrichtung MG 301 mit 300-kV-Röntgenstrahler

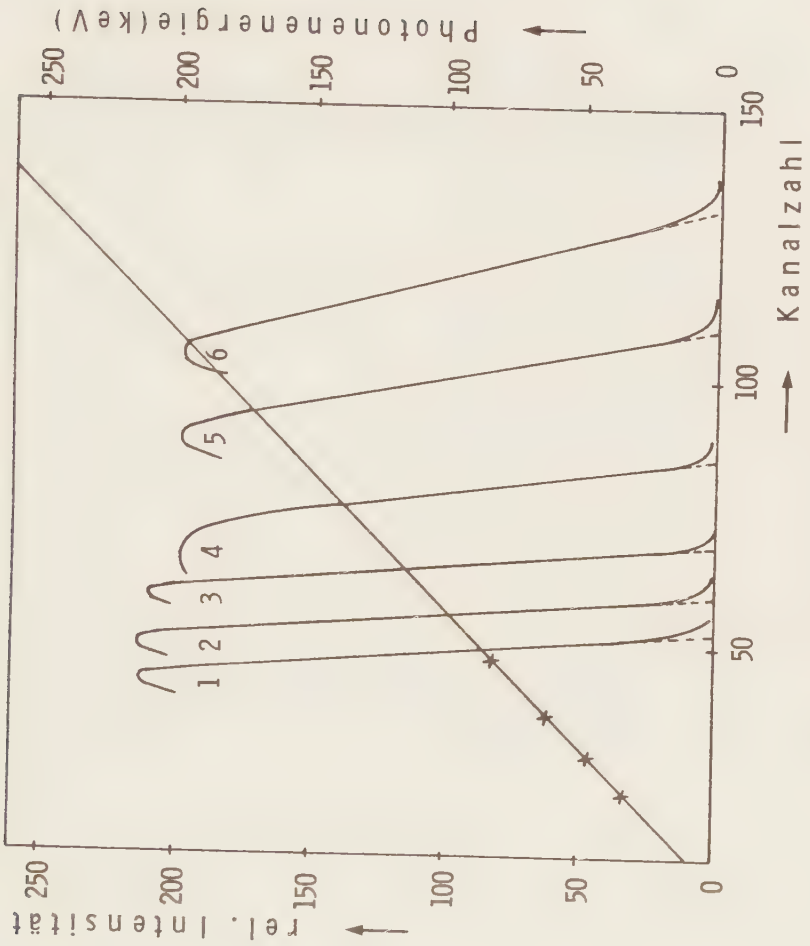

Abb.9 Bremsstrahlspektren, aufgenommen mit der Materialprüfungseinrichtung MG 301 der Fa. Philips mit 300-kV-Röntgenstrahler bei Röhrenspannungen von
90 kV (≙ 1), 100 kV (≙ 2), 120 kV (≙ 3),
150 kV (≙ 4), 200 kV (≙ 5), 250 kV (≙ 6)

5.2.5. 160-kV-Röntgenstrahler

Die Tabellen 11 und 12 geben die eingestellten Röhrenspannungen und Filterungen an. Abb.10 zeigt die Spektren.

Röhrenspannung (kV)	Filterung (mm Cu)
60	5
80	8
100	11
120	13
140	15

Tab.11 Eingestellte Röhrenspannungen und Filterungen bei der Materialprüfungseinrichtung MG 301 mit 160-kV-Röntgenstrahler

eingestellte Röhrenspannung (kV)	gemessene Grenzenergie (keV)
60	67
80	84
100	104
120	120
140	140

Tab.12 Ergebnisse zur Bestimmung der Grenzenergie bei der Materialprüfungseinrichtung MG 301 mit 160-kV-Röntgenstrahler

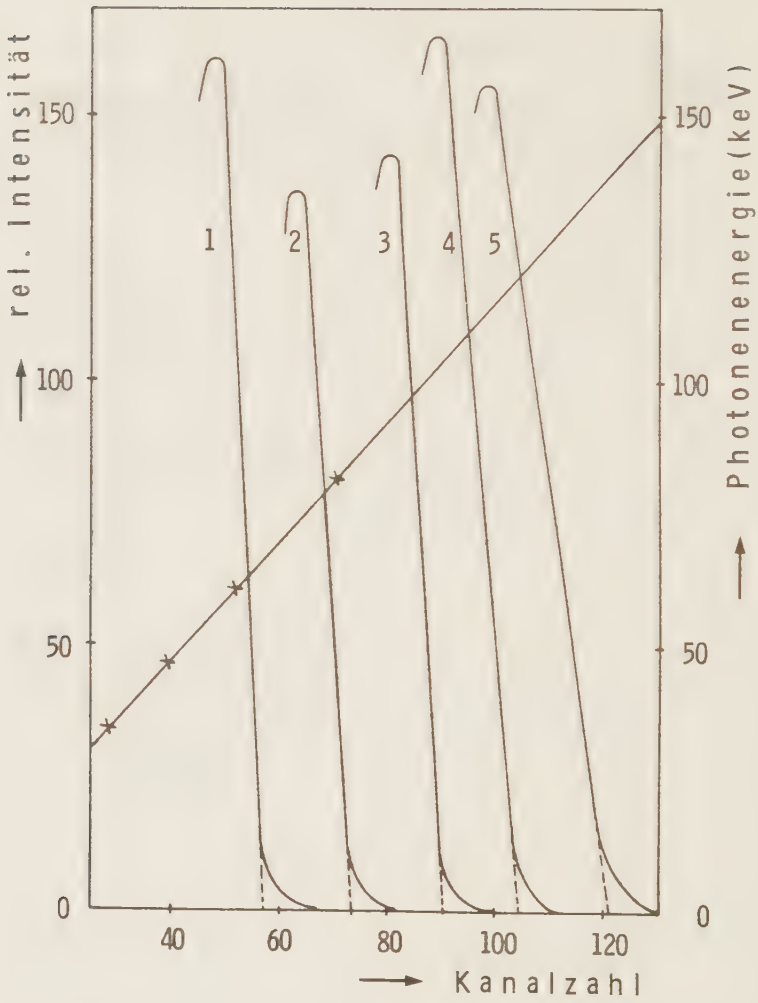

Abb.10 Bremstrahlspektren, aufgenommen mit der Materialprüfungseinrichtung MG 301 der Fa. Philips mit 160-kV-Röntgenstrahler bei Röhrenspannungen von 60 kV (≙ 1), 80 kV (≙ 2), 100 kV (≙ 3), 120 kV (≙ 4), 140 kV (≙ 5)

5.2.6. Medizinische Durchleuchtungseinrichtung

Bei dieser Anlage ließ sich die Röhrenspannung nicht ablesen; sie wird durch eine Dosisleistungsautomatik geregelt. Die höchstmögliche Röhrenspannung beträgt nach den Angaben des Herstellers 110 kV. Bei der Messung war das Strahlenaustrittfenster minimal geöffnet, der Detektor befand sich 20 cm vor dem Austrittfenster in der Nutzstrahlung, die Filterung betrug 10 mm Cu.

Die gemessene Grenzenergie betrug 101 keV. Es ist zu vermuten, daß bei einer derart hohen Filterung die Röhrenspannung durch die Automatik bis in die Nähe des Grenzwertes, also in die Größenordnung zwischen 100 und 110 kV eingestellt wurde, was durch das Meßergebnis bestätigt wird.

Auch hier wurde die Gehäusedurchlaßstrahlung gemessen. Dabei wurde das Strahlenaustrittfenster mit einem Bleiziegel verschlossen und der Detektor hinter die Röhre in einem Abstand von 10 cm plaziert. Die Grenzenergie betrug 89 keV.

Abbildung 11 zeigt die Spektren.

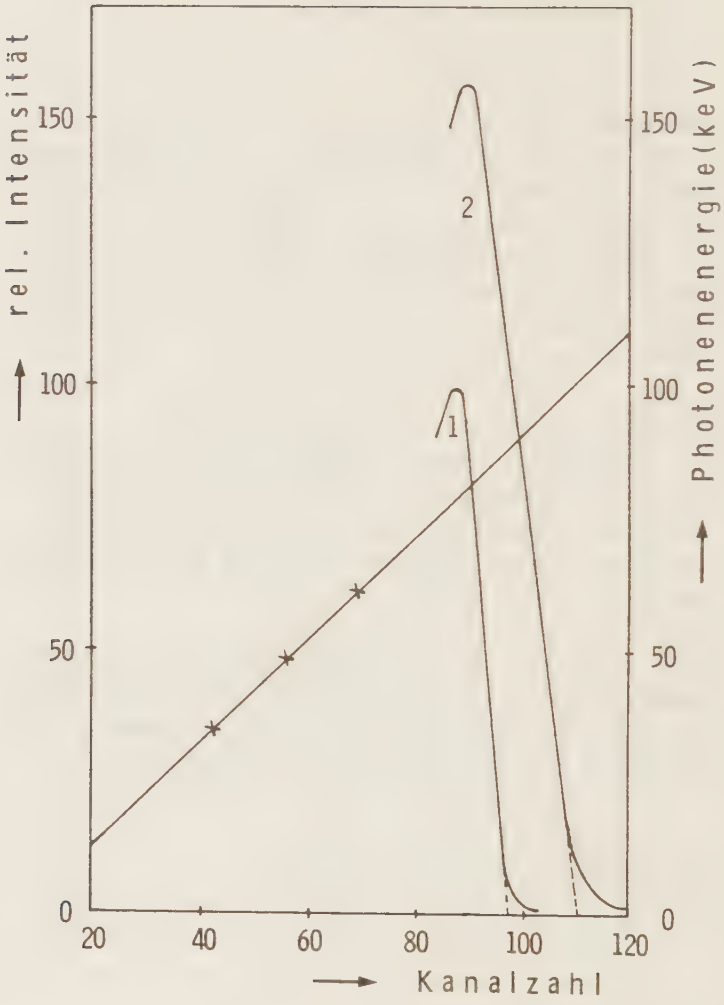

Abb.11 Bremsstrahlspektren, aufgenommen mit der Medizinischen Durchleuchtungseinrichtung Diagnost 73 der Fa. Philips
1 ≙ Gehäusedurchlaßstrahlung
2 ≙ Nutzstrahlung

6. Diskussion

Der CdTe-Detektor hat sein größtes Ansprechvermögen im Bereich von 30 bis 50 keV, bedingt durch die Größenordnung der Wirkungsquerschnitte von in den Halbleitermaterialien Cd und Te ablaufenden Absorptionsvorgängen (Photo- und Comptoneffekte) /3/. Aus diesem Grund nimmt mit steigender Energie das Ansprechvermögen ab. Hinzu kommt, daß bei höheren Photonenenergien das geringe Detektorvolumen eine Abnahme des Ansprechvermögens begünstigt.

Das Auflösungsvermögen und damit die Genauigkeit der Röhrenspannungsbestimmung wird mit steigender Zählrate schlechter, weil es bei hohen Zählraten (Dosisleistungen) zu Impulsaufstockungen in den elektronischen Übertragungsgliedern kommt. Daraus ergibt sich oft die Notwendigkeit durch zusätzliche Filterung die Zählrate möglichst niedrig zu halten. An vielen Röntgeneinrichtungen hat man durch begrenzten Abstand vom Fokus und nicht nach unten beliebig reduzierbare Röhrenströme keine andere Möglichkeit als den Einbau ausreichend hoher Filterungen. Auf den Wert der Grenzenergie hat die Filterung allerdings keinen Einfluß.

"Ausreichend hohe Filterung", d.h. niedrige Dosisleistung, läßt sich an der Form des Spektrums erkennen. Wichtig ist ein möglichst steiler Abfall im Bereich der Grenzenergie (s.Abb.5). Der Wert der Dosisleistung am Detektor sollte 50 mR/h nicht überschreiten (s.Tab.3 und Abb.5).

Im Röhrenspannungsbereich von 30 bis 70 kV wurden zwischen dem Wert der eingestellten Röhrenspannung (in kV) und der gemessenen Grenzenergie (in keV) relativ große Unterschiede festgestellt. Möglicherweise ist die "Filtermethode" zur Erzeugung von für ein optimales Auflösungsvermögen günstigen Dosisleistungen im Bereich geringer Röhrenspannungen weniger geeignet.

Im Röhrenspannungsbereich von 80 bis 250 kv liefert die in dieser Arbeit beschriebene Methode ausreichend genaue Ergebnisse: Die mittlere Abweichung bei 10 Messungen betrug 1.8 % (s.Tab.13). Damit kann das Spektrometer auf CdTe-Basis routinemäßig für die Bestimmung der Röhrenspannung für die meisten Röntgeneinrichtungen der Diagnostik und der konventionellen Strahlentherapie eingesetzt werden. Die hier ermittelten Filterungen für bestimmte Röhrenspannungen zur optimalen Einstellung des Auflösungsvermögens lassen sich ganz allgemein auch auf andere Röntgeneinrichtungen übertragen. Auch die Meßzeit von durchschnittlich 3 Minuten pro Spektrum läßt für den mobilen Einsatz keine Probleme erwarten.

Auf dem eingangs erwähnten Gebiet der Überprüfung von Standarddaten nach § 29 RöV und hinsichtlich der möglicherweise zu erwartenden Qualitätskontrollen von medizinischen Röntgeneinrichtungen ergeben sich zahlreiche Einsatzmöglichkeiten des CdTe-Detektors. Der geringe apparative Aufwand - der Zwang zur Kühlung mit flüssigem Stickstoff, wie beim Ge(Li)-Halbleiter unbedingt erforderlich, entfällt - und das Hantieren nur mit relativ geringen Hochspannungswerten von 200 V zum Betrieb des Detektors - beim Ge(Li)-Detektor sind nahezu 1000 V erforderlich -

prädestinieren dieses Spektrometer für den mobilen Einsatz in medizinischen Röntgenbetrieben.

Röhrenspannung (kV)	Grenzenergie (keV)	Abweichung (%)
90	88	2.2
90	91	1.1
100	104	4.0
100	104	4.0
120	122	1.6
120	120	0.0
140	140	0.0
150	155	3.0
200	202	1.o
250	247	1.2
		$\bar{x}$ = 1.8

Tab.13 Prozentuale Abweichung der gemessenen Grenzenergie von der eingestellten Röhrenspannung

7. Zusammenfassung

Die genaue Kenntnis und reproduzierbare Einstellung von Röhrenspannungen an medizinischen Röntgengeräten ist zum einen für den therapeutischen und diagnostischen Erfolg des Einsatzes von Röntgenstrahlung von großer Bedeutung, zum anderen zur Erfüllung von gesetzlichen Bestimmungen.

Ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung der Röhrenspannung ist die Röntgenstrahlspektrometrie. Dabei kommen verschiedene Detektoren zum Einsatz, die sich in ihren physikalischen Eigenschaften und ihrem apparativen Aufwand unterscheiden. Der Ge(Li)-Detektor z.B. muß mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden und mit einer Hochspannung von fast 1000 V betrieben werden. Der CdTe-Detektor hingegen arbeitet bei Raumtemperatur und benötigt nur eine Spannung von 200 V. Seine physikalischen Eigenschaften, wie Auflösungsvermögen, Ansprechvermögen und Linearität wurden schon im Rahmen einer entsprechenden Vorarbeit untersucht.

In dieser Arbeit erfolgte die praktische Erprobung des CdTe-Detektors an verschiedenen Röntgeneinrichtungen bei Röhrenspannungen von 30 bis 250 kV.
Da das Auflösungsvermögen dieses Detektors mit steigender Zählrate (Dosisleistung) schlechter wird, und sich die Dosisleistung an den Röntgeneinrichtungen nicht beliebig reduzieren ließ, mußte die auf den Detektor auftreffende Strahlenintensität durch entsprechende Filterungen reduziert werden.

Auf den Wert der zu bestimmenden Grenzenergie hat diese Maßnahme keinen Einfluß.

Die Ergebnisse der Messungen ergaben für den Röhrenspannungsbereich von 30 bis 70 kV eine relativ hohe Abweichung der Grenzenergie von der eingestellten Röhrenspannung. Für diesen Bereich scheint die Methode der Filterung weniger geeignet zu sein. Im Röhrenspannungsbereich von 80 bis 250 kV jedoch zeigten sich gute Ergebnisse. Die Abweichung bei 10 Messungen lag bei durchnittlich 1.8 %.

Damit ist der CdTe-Detektor neben seinen physikalischen Eigenschaften und seinen Vorteilen hinsichtlich des Aufwandes auch von der praktischen Erprobung her für den mobilen Einsatz in medizinischen Röntgenbetrieben gut geeignet.

8. Literaturverzeichnis

/1/ Weher, G., Ein tragbares Ge(Li)-Spektrometer zur Messung von Röhrenspannungen, PTB-Mitt. 4 (1973) 238

/2/ Pychlau, P.J., Dosimetrie und Meßgeräte in der Röntgendiagnostik, in Strahlenschutzkurs für Ärzte, Hoffmann-Verlag, Berlin (1974)

/3/ Ardran, G.M.,D.M.R. und H.E. Crooks, Checking diagnostic x-ray sean quality, Brit. J. Radiol. 41 (1968) 193

/4/ Eckwerth, A., K. Ewen, P. G. Fischer, Die Bestimmung der Strahlenqualität und der Dosisleistung in der Röntgendiagnostik und in der Röntgentherapie mit Hilfe von Thermolumineszensdosimetern, Strahlentherapie 155 (1979) 114

/5/ Nowotny, R., The Measurement of Peak Voltage of X-Ray Generators with Pin-photodiodes, Health-Physics 39 (1980) 310

/6/ Görner, H., Untersuchung über die Eignung eines neuartigen Detektors zur Bestimmung und Überwachung von Röntgengeräten in ärztlichen Praxen, Studienarbeit Gesamthochschule Wuppertal (1981)

/7/ Röntgenverordnung -RÖV- , Bundesgesetzblatt Teil 1, Nr. 8-9 (1973) 173

/8/ Richtlinie zu § 29 der RÖV, zur Bekanntgabe des BMJFG und BMA vom 15.03.74, Bundesgesetzblatt, Nr. 8-9, (1974)

/9/ Datenblatt der Firma Radiochemical Centre, Data sheet 11162, Variable energy X-ray source, code Amc. 2084

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Günther vom Institut und der Klinik für Medizinische Strahlenkunde der Universität Düsseldorf danke ich für das Thema dieser Arbeit.

Herrn ORR Priv.-Doz. Dr. Ewen von der Zentralstelle für Sicherheitstechnik (Zfs) in Düsseldorf danke ich für die engagierte Beratung und Betreuung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Frau Schienbein von der Zfs danke ich für die Hilfe bei der Aufnahme der Röntgenspektren.

Lebenslauf

01.08.1951	Geboren in Düsseldorf Vater : Anton Fittkau Mutter: Katharina Fittkau, geb. Altenwerth
1958 - 1962	Volksschule
1962 - 1971	Staatl. Görres Gymnasium in Düsseldorf
25.05.1971	Abitur
09.71 - 09.73	Apothekerpraktikant in der Schloß-Apotheke in Düsseldorf
13.09.1973	Pharmazeutisches Vorexamen
11.73 - 12.76	Apothekerassistent in der Ring-Apotheke in Ratingen
10.74 - 12.75	Grundwehrdienst
01.77 - 09.77	Apothekerassistent in der Storchen-Apotheke in Düsseldorf
seit 10.77	Studium der Medizin in Düsseldorf